

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Nouvelles Technologies des Informations et de Communication
Département d'électronique et de communication



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Sciences et technologies
Filière : Génie électrique
Spécialité : Signal et communication
Présenté par :
Boukhallat Leila- Baadi Shara

Thème:

Etude et simulation d'un système radar

Soutenu publiquement

Le :25/05/2017

Devant le jury :

DR. Chebbara Mohammed Fouad	MC (A)	Président	UKM Ouargla
M ^f Aounallah Naceur	MC (B)	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M ^f Moad Mohammed Sayah	MC (B)	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2016/2017

A decorative border of pearls and roses surrounds the text. The top and right sides feature a row of large pearls, while the bottom and left sides feature a row of smaller pearls. Large, detailed roses are placed at the corners: a red rose and white roses on the top left, and a large white rose on the bottom right.

Remerciements

Louange à dieu le miséricordieux, qui m'a permis d'accomplir ce travail.

Je tiens à remercier vivement mon directeur de mémoire :

M^r AOUNALLAH Naceur

D'avoir dirigé ce travail, ainsi pour toutes les facilités matérielles qu'il m'a accordé pour L'accomplissement de ce travail.

ainsi pour tous , à l'université de Ouargla, d'avoir proposé et dirigé ce travail.

Je remercie toute ma famille, ainsi que tous les amis et collègues, pour leur soutien

et encouragement au cours de mes études

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents .

A mes très chers frères et sœurs.

A tous mes proches.

A tous mes amis du village.

A mes ami(e)s.

A tous ceux qui m'ont soutenu de loin ou de près.

*Leila
Sahra*

Résumé:

Dans ce travail de mémoire, nous avons étudié afin de prendre connaissance sur le système radar qui est inventé depuis la deuxième guerre mondiale. On rappelle le principe fonctionnement de système radar et on donne aussi les différents types de ce système, ainsi on fournit un aperçu des calculs concernant les différentes formes d'onde et la fonction d'ambiguïté. Le système radar a été simulé à l'aide de logiciel Matlab en basant sur sa fonction ambiguïté, les résultats de la simulation montrent les performances de ce système (vitesse, distance, direction).

Les mots clés: le système radar, radar impulsionnel, fréquence Doppler, détection d'obstacles, formes d'onde, la fonction d'ambiguïté.

Abstract:

In this work, we have studied and presented the radar system that has been invented since the Second World War. We recall the principle of operation of radar system and also give the different types of this system. Thus provide an overview of the calculations of the different waveforms and the ambiguity function. The radar system was simulated using Matlab software based on its ambiguity function. The results of the simulation show the performances of this system (speed, distance, direction).

Keywords: radar system, pulse radar, Doppler frequency, target detection, waveforms; ambiguity function.

ملخص:

في هذا العمل، تطرقنا إلى دراسة و معرفة نظام الرادار الذي يعتبر موجود منذ الحرب العالمية الثانية. و أدرجنا الوظيفة الأساسية للنظام الرادار و مختلف أنواعه، بالإضافة إلى تقديم لمحة عامة لحسابات مختلفة عن الطول الموجي و وظيفة الغموض لنظام رادار. تتم المحاكاة باستخدام ماتلاب و نركز على أساس وظيفة الغموض و تبين نتائج المحاكاة ضوابط النظام (السرعة والمسافة والاتجاه).

الكلمات المفتاحية: ردار نبضي، تردد دوبار، نظام الرادار، الكاشف، الطول الموجي، وظيفة الغموض.

Table de Matière

DEDICACE

REMERCIEMENTS

Table de Matière.....	i
Liste des figures et tablau.....	iv
Liste des abréviations.....	v
Liste des symbole et notations.....	iv
Introduction Générale.....	1
CHAPITRE 01: GENERALITES SUR LE RADAR	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Une brève historique.....	4
I.3 Principe fonctionnement.....	5
I.4 I.4. Critère de performances de radar.....	5
1.4.1 Mesure de la vitesse.....	5
1.4.2 Mesure de la direction angulaire.....	5
1.4.3 Mesure de la distance.....	6
I.5 L'expression générale du signal radar.....	7
I.6 Classification et types des radars.....	7
I.6.1 <i>Le Radar Primaire</i>	8
I.6.1.1 <i>Le Radar à onde continu</i>	8
I.6.1.2 <i>Le radar à impulsion</i>	10
I.6.2 <i>Le radar secondaire</i>	11
I.6.3 <i>Les radar imageurs et non imageurs</i>	11
I.7 La Surface Equivalente Radar.....	11
I.8 L'équation générale du radar.....	12
I.9 Les fréquences du radar.....	13
I.10 Application de radar.....	13
I.11 Principaux avantages du Radar.....	14
I.12 Conclusion.....	15
CHAPITRE 02: FONCTION D'AMBGUITE ET FORMES D'ONDE	
II.1 Introduction.....	17

II.2	Les composants de système radar.....	17
II.2.1	L'émetteur.....	17
II.2.1.1	Le modulateur.....	18
II.2.2	Le duplexeur.....	18
II.2.3	L'antenne.....	18
II.2.4	Les ondes électromagnétiques.....	18
II.2.5	La cible.....	18
II.2.6	Le récepteur.....	19
II.2.7	Le traitement	19
II.2.7.1	Traitement de signal.....	19
II.2.7.2	Traitement de données.....	19
II.2.8	Synchronisateur.....	19
II.2.9	L'affichage radar.....	20
II.2.10	Filtre adapté.....	20
II.3	La fonction d'ambiguïté.....	20
II.3.1	Définition.....	20
II.3.2	Propriétés la fonction d'ambiguïté.....	20
II.3.3	Le diagramme de la fonction d'ambiguïté.....	21
II.4	Les formes d'onde.....	22
II.4.1	Importance de choix des formes d'ondes.....	22
II.4.1.1	Performance.....	22
II.4.1.2	Facteurs de choix des formes d'onde.....	23
II.4.2	Les types des formes d'onde.....	24
II.4.2.1	Formes d'onde continue.....	24
II.4.2.2	Formes d'onde à impulsion.....	24
II.5	Conclusion.....	27

CHAPITRE03 : RUSELTATS DE SIMULATION

III.1	Introduction	29
III.2	Impulsion d'amplitude pondérée par cosinus.....	29
III.3	Impulsion d'amplitude pondérée par cosinus LFM	31
III.4	Impulsion rectangulaire simple.....	32
III.5	Impulsion rectangulaire modulée linéairement en fréquence	34
III.6	Train d'impulsions.....	36
III.7	Impulsion Gaussienne non modulée.....	38
III.8	Impulsion Gaussienne modulée en fréquence.....	40
III.9	Conclusion.....	42
	Conclusion générale.....	44
	Référence.....	47

Liste des figures et des Tableau

I.1	Principe fonctionnement du Radar.....	5
I.2	Azimut de la cible.....	6
I.3	Mesure de la distance.....	7
I.4	Simple de signale radar.....	7
I.5	Différents types de radar.....	8
I.6	Principe de Radar à onde continu.....	9
I.7	Principe du radar FMCW.....	10
I.8	Principe un radar Doppler.....	11
I.9	Les applications radar.....	14
II.1	Les différentes composants de système radar.....	17
II.2	Le diagramme de la fonction d'ambiguïté.....	21
II.3	Forme d'onde en cos	24
II.4	Forme d'onde à impulsion rectangulaire	25
II.5	Forme d'onde le train d'impulsion.....	26
II.6	Forme d'onde impulsion modulée linéairement en fréquence	27
II.7	Forme d'onde à impulsion gaussienne.....	27
III.1	Représentation tridimensionnelle de la fonction d'ambiguïté pour un signal radar à impulsion d'amplitude pondérée par cosinus.....	29
III.2	Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion d'amplitude pondérée par cosinus.....	30
III.3	Evolution spectrale de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion d'amplitude pondérée par cosinus.....	30
III.4	Représentation tridimensionnelle de la fonction d'ambiguïté pour un signal à impulsion d'amplitude pondérée par cosinus et modulée linéairement en fréquence.....	31
III.5	Graphe de contour du diagramme d'ambiguïté pour le signal d'impulsion d'amplitude en cosinus modulée linéairement en fréquence.....	31
III.6	Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion d'amplitude en cosinus modulée linéairement en fréquence...	32

III.7	Evolution spectrale de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion d'amplitude en cosinus modulée linéairement en fréquence...	32
III.8	Représentation tridimensionnelle de la fonction d'ambiguïté pour un signal à simple impulsion rectangulaire.....	33
III.9	Graphe de contour du diagramme d'ambiguïté pour le signal d'une simple impulsion rectangulaire.....	33
III.10	Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une simple impulsion rectangulaire.....	34
III.11	Evolution spectrale de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une simple impulsion rectangulaire.....	34
III.12	Représentation tridimensionnelle de la fonction d'ambiguïté pour un signal à impulsion rectangulaire modulée linéairement en fréquence.....	35
III.13	Graphe de contour du diagramme d'ambiguïté pour le signal à impulsion simple modulée linéairement en fréquence.....	35
III.14	Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion simple rectangulaire modulée linéairement en fréquence.....	36
III.15	Evolution spectrale de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion simple rectangulaire modulée linéairement en fréquence.....	36
III.16	Représentation tridimensionnelle de la fonction d'ambiguïté pour un signal train de quatre impulsions.....	37
III.17	Graphe de contour du diagramme d'ambiguïté pour le signal train de quatre impulsions.....	37
III.18	Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'un train de quatre impulsions.....	37
III.19	Evolution spectrale de la réponse du récepteur radar dans le cas d'un train de quatre impulsions.....	38
III.20	Représentation tridimensionnelle de la fonction d'ambiguïté pour un signal radar à impulsion gaussienne non module.....	38
III.21	Graphe de contour du diagramme d'ambiguïté pour le signal d'impulsion gaussienne non modulée.....	39
III.22	Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion gaussienne non modulée.....	39

III.23	Evolution spectrale de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion gaussienne.....	40
III.24	Représentation tridimensionnelle de la fonction d'ambiguïté pour un signal radar impulsion gaussienne moduleé en fréquence.....	40
III.25	Grphe de contour du diagramme d'ambiguïté pour le signal d'impulsion gaussienne modulée en fréquence	41
III.26	Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion gaussienne modulée en fréquence.....	41
III.2	Evolution spectrale de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion gaussienne modulée en fréquence.....	41

Liste des Tableau

I.1	Les bandes de fréquence radar et leurs applications.....	13
-----	--	----

Liste des abréviations

Acronyme Signification

Radar	Radio Detection And Ranging.
FM	Modulation Fréquence.
CW	Onde continue (Continuous Wave).
FMCW	Ondes continues modulé en fréquence (frequency modulated Continuous Wave).
RF	Fréquence Radio (Radio Frequency).
MTI	Visualisation des cibles mobile (Moving Target Indicator).
PRF	Une fréquence de répétition d'impulsion faible.
SER	Surface Equivalente Radar.
OEM	Onde Electromagnétique.
CFAR	Constant False Alarm Rate.
PPI	Vue panoramique à angle d'élévation constant (Plan Position Indicateur).
S/B	Rapport Signale Sur Bruit.
FML	Modulation en Fréquence Léniaire (frequency modulated laniary).

Liste des symboles et notations

<i>Symbole</i>	<i>Signification</i>	<i>Unité</i>
V_r	la vitesse radiale.	Rad/s
D	distance antenne-cible.	m
C	la vitesse de la lumière.	m/s
Δt	le temps mesuré par le radar .	s
τ	Durée de l'impulsion.	s
T_P	la période de répétition d'impulsion.	s
F_d	la fréquence Doppler.	MHz
σ	la surface équivalente radar .	m^2
P_r	puissance reçue.	W/m^2
λ	la longueur d'onde en espace libre.	m
A_e	la surface effective de l'antenne émettrice.	m^2
A_r	la surface effective de l'antenne réceptrice.	m^2
G_r	le gain de l'antenne réceptrice.	Sans unité
G_t	le gain de l'antenne émettrice.	Sans unité
P_t	puissance transmise.	w
R_{\max}	Porté maximale.	m
E	Champs Electrique.	v/m
B	Champs Magnétique.	A/m

Introduction générale

Introduction générale

L'histoire du **radar** est une branche de l'histoire de l'électronique qui devient un des fondements de la stratégie militaire du XX siècle. Dès le début de ce siècle, plusieurs inventeurs, scientifiques et ingénieurs ont contribué au développement du système radar. Aujourd'hui, l'utilisation du radar s'est étendue à d'autres domaines que le domaine militaire. On l'utilise dans l'aviation civile, l'astrométrie, le contrôle maritime, la détection météorologique et le contrôle du trafic routier (détecteurs de vitesse sur les routes), pour prévention sur les moyens de transport.

Le mot radar vient de l'acronyme anglais « Radio Détection And Ranging » qui signifie littéralement « détection et télémétrie radio ». Le principe du radar est basé sur la propagation des ondes électromagnétiques ou plus exactement sur celle des ondes radiofréquences(RF). La réflexion de l'onde sur une cible permet d'en détecter la présence puis d'en déduire la position et la vitesse et imagerie de faciliter le traitement en vue de la détection, le signal émis par l'émetteur du radar possède certaines caractéristiques qui définissent ce que l'on appelle la forme d'onde.

Dans le but de pouvoir détecter une cible, il est nécessaire de pouvoir relier le signal qu'elle réfléchit à la forme d'onde émise. Pour déterminer quel est le signal utile émis le plus adapté pour améliorer les spécifications du radar souhaitées (compromis entre la précision de la vitesse et de la distance de la cible détectée) on se base sur l'utilisation d'une fonction appelée fonction d'ambiguïté.

Ce mémoire de recherche s'organise de trois chapitres principaux:

Dans le premier chapitre, nous faisons une étude générale sur les radars en rappelant leur théorie et leur principe de fonctionnement aussi en évoquant leurs différents types.

Dans le deuxième chapitre, après une définition sur la notion de fonction d'ambiguïté on travaille à montrer, ses principales propriétés, les principaux facteurs sur les quels est basé, en général, le choix de la forme d'ondes utilisé par le système radar.

Le troisième, qui est le dernier chapitre de ce manuscrit, porte sur des exemples de simulations avec lesquels on peut analyser les performances de notre système radar en se basant principalement sur des graphes obtenus par la programmation des modèles

mathématiques sous le logiciel Matlab et concernant en généralement la fonction d'ambiguïté.

Le manuscrit se termine, bien sùre, par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I
Généralités sur le Radar

I.1. Introduction:

Le radar est un système ou dispositif de détection et de mesure robuste et fiable avec une grande capacité d'observation des projectiles qui sont stables ou encore en mouvement rapide. Ce système est opérationnel grâce aux ondes électromagnétiques utilisées soit en émission où en réception. Les domaines et le grand nombre d'applications de cette vitale technologie à nos jours, nous laisse réserver le présent chapitre pour présenter des généralités sur le radar.

I.2. Une brève historique:

Un jour de 1884 "James Clerk Maxwell" décrit les lois de l'électromagnétique sous forme d'équations mathématiques. Deux ans plus tard (en 1886), le physicien allemande " Heinrich Rudolf Hertz " a réalisé les premières expériences sur les ondes électromagnétiques et a montré que les ondes "Radio" pouvait être réfléchies par les corps métalliques et diélectrique, et ainsi Hertz a ouvert la voie à l'invention du radar. En effet, l'histoire du radar était lancée dès 1904 où l'allemand " Christian Hülsmeyer " dépose un brevet sur un détecteur d'obstacles à ondes radio-continues à la suite de réflexions constatées sur des navires croisant sur le Rhin.

Les expériences de détection avec des antennes radio se multiplient dans les années 1920 et 1930. En 1934, la France dépose un brevet sur un système de détection par ondes courtes : les premiers radars à ondes décimétriques équipent le cargo Oregon (en 1934) puis le paquebot Normandie (en 1935). L'évolution de ce domaine a permis d'utiliser le premier réseau de radars par "Robert Wattson" [1].

En 1939, l'invention de la cavité résonnante, dite magnétron, permet de développer le radar à ondes centimétriques et millimétriques. À la veille de la Seconde Guerre mondiale, la Grande-Bretagne possède déjà un réseau de radars pour protéger ses côtes des attaques navales et aériennes. Durant ce conflit, d'autres nations belligérantes développent à leur tour des systèmes radar qui, après la guerre, trouvent d'innombrables applications civiles et scientifiques.

L'expérience acquise par les opérateurs des radars pendant la guerre a également permis le développement de nouvelles applications.

I.3. Principe fonctionnement:

La première fonction d'un radar est comme son nom l'indique la détection de cibles, il exploite la propriété des ondes radio à se réfléchir sur les objets. Une onde radio à haute fréquence produite par un émetteur (oscillateur et amplificateur) et acheminée à une antenne via un guide d'onde est émise dans l'espace. La figure I.1 ci-dessous illustre le principe de fonctionnement du radar primaire. L'antenne du radar illumine la cible avec des micro-ondes, qui sont alors réfléchies puis interceptées grâce à un récepteur. Le signal électrique recueilli par l'antenne est appelé « écho » ou « signal de retour ». Le signal transmis par le radar est généré par un émetteur puissant, l'écho réfléchi par la cible est capté par un récepteur très sensible [2].

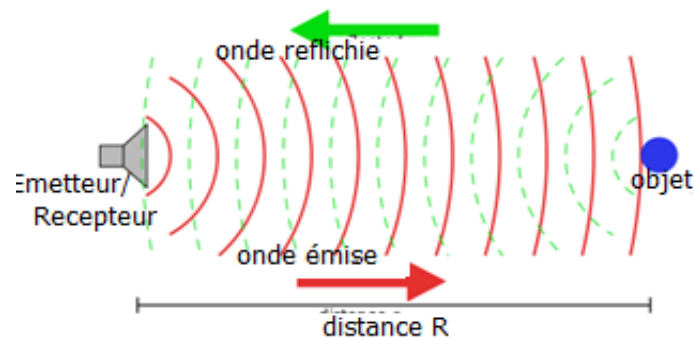


Figure I.1: Principe fonctionnement du Radar.

I.4. Critère de performances de radar:

I.4.1. Mesure de la vitesse:

La vitesse radiale de la cible peut être mesurée de deux façons : le décalage dû à l'effet Doppler ou la mesure successive de la distance. Même si cela demande un temps de mesure relativement long pour avoir la précision adéquate, c'est la deuxième méthode qui est préférée la plupart du temps car sa réalisation est plus simple [3].

$$v = \frac{\lambda f_d}{2} \quad (\text{I-1})$$

I.4.2. Mesure de la direction angulaire:

L'angle, entre la direction du nord et celle de la cible (azimut) il est déterminé grâce à la directivité de l'antenne. La directivité est la capacité de l'antenne à concentrer l'énergie rayonnée dans une direction particulière. En mesurant la direction dans laquelle est pointée l'antenne à l'instant où elle reçoit un écho, on peut déterminer non seulement l'azimut mais

aussi le site de la cible (donc son altitude). La précision de la mesure de ces angles dépend de la directivité de l'antenne. Pour une fréquence émise donnée (ou une longueur d'onde définie), la directivité d'une l'antenne est fonction de ses dimensions propres [4].

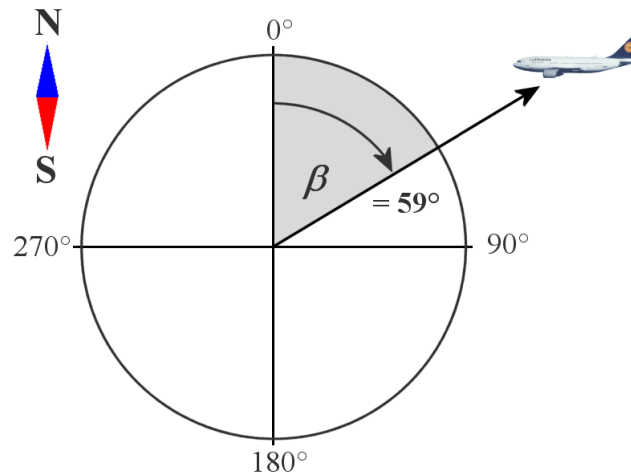


Figure I.2: Azimut de la cible.

Où β est donnée par la relation suivant:

$$\beta \approx (65 \times \lambda) / L \quad (\text{I-2})$$

Avec; β : est l'ouverture en degré à mi-puissance, λ : la longueur d'onde émise en mètre, et L : la dimension d'antenne en mètre.

I.4.3. Mesure de la distance:

La mesure de la distance à un objet est faite d'une façon à émettre une courte impulsion de signal radio, et de mesurer le temps d'aller-retour de l'onde émise. La distance est la moitié du temps de retour de l'onde (car le signal doit aller à la cible puis revenir) multipliée par la vitesse du signal (qui est proche de la vitesse de la lumière dans le vide si le milieu traversé est l'atmosphère). La formule permettant de calculer cette distance est donc la suivante [5]:

$$D = \frac{C \cdot \Delta t}{2} \quad (\text{I-3})$$

Où : D : distance antenne-cible (m), C : célérité de la lumière $\approx 3.10^8$ m / s, Δt : le temps mesuré par le radar qui est le temps nécessaire d'aller-retour.

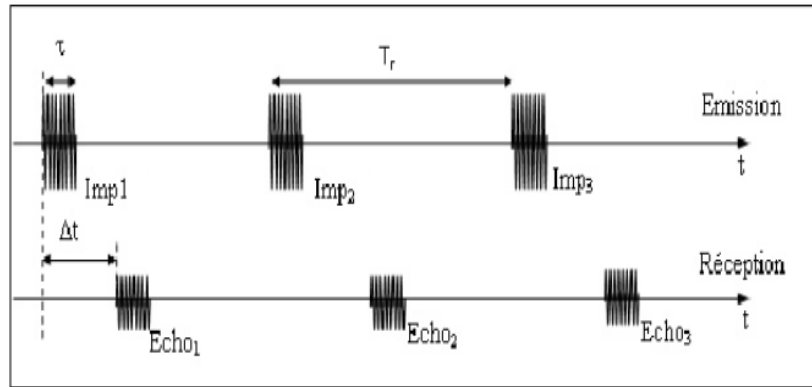


Figure I.3: Mesure de la distance.

T_r : Période de répétition des impulsions, et τ : Durée de l'impulsion.

I.5. L'expression générale du signal radar:

Le signal radar est généralement un signal sous porteuse à bande étroite modulé en amplitude et /ou en phase qui peut être entièrement défini par la relation suivante [6]:

$$A_1(t) = A(t)\cos(\omega \cdot t + \varphi(t))$$

(I-4)

L'amplitude $A(t)$ et la phase $\varphi(t)$ contiennent toute l'information utile du signal radar.

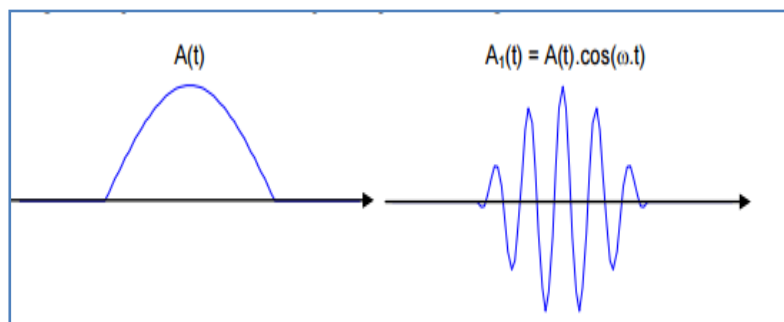


Figure I.4 : illustration d'un exemple simple de signal radar.

I.6. Classification et types des radars:

Selon l'information recherchée, les radars possèdent différentes qualités et technologies. Ceci se traduit par différentes classifications qui peuvent être utilisées en fonction de certains critères et multiples types, les critères de base peuvent être résumés en suivant [4, 7]:

- **Fonction** : Détection, poursuite.
- **Lieu** : Terrestre, spatiales, marines, missiles,... etc.

- **Applications** : Contrôle du trafic, météo, navigation, cartographie. guidage, mesure des distances, mesure des vitesses, imagerie, etc.
- **Formes d'ondes** : pulsées, continues (CW), continues et modulées en fréquence (FM / CW).
- **Type de cibles.**
- **Position relative de l'émetteur et du récepteur:** Mono statiques, Multistatiques.

Il existe différents types de radar, ces variétés des types sont présentées sur la figure suivante:

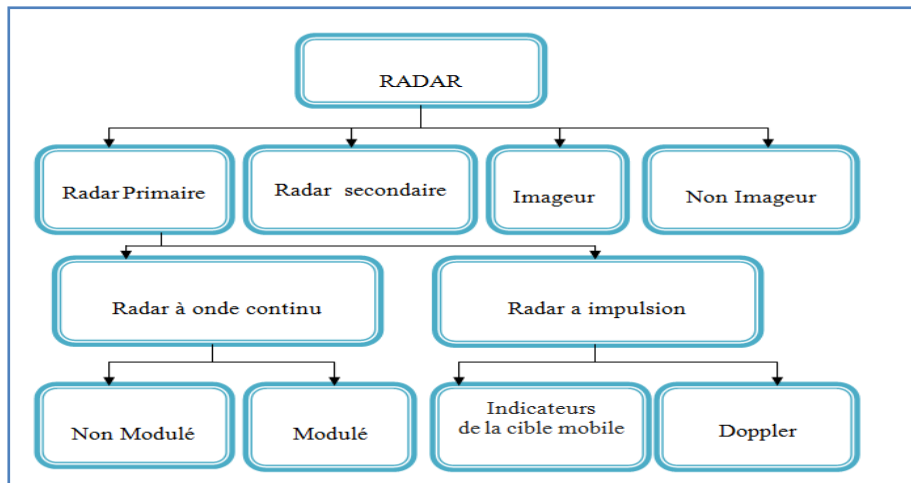


Figure I.5: Différents types de radar.

I.6.1. Le radar primaire:

Le radar primaire utilise le principe d'émission d'une énergie électromagnétique [2] et détecte le signal réfléchi pour fournir des informations (distance, position, ...).

I.6.1.1. Le Radar à onde continu (CW-radar):

Dans ce type de radar est généralement utilisé par les constructeurs automobiles pour la réalisation des systèmes embarqués anticollision et de contrôle intelligent de la conduite automobile [8]. L'émetteur génère une oscillation continue à la fréquence et une amplitude qui est rayonnée par l'antenne. De plus, il existe également deux types de radar à ondes continues, le plus simple étant le radar à ondes continues non-modulées et le radar à ondes continues modulées [9].

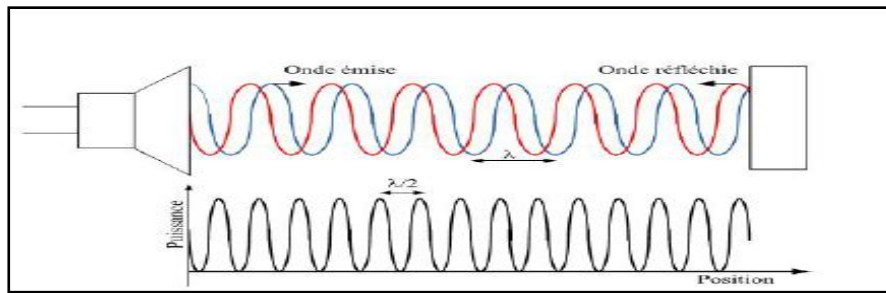


Figure I.6: Principe de Radar à onde continue.

a) Le radar à ondes continues non-modulées :

Un radar en ondes continues non modulé émet en continu des ondes électromagnétiques et en même temps reçoit les réflexions de la cible. Les techniques CW n'utilisent pas de modulation temporelle, et en tant que tel, il est très difficile par ce système de déterminer une distance. Ce radar Continu est utilisé essentiellement pour la mesure de vitesse par décalage Doppler [10].

b) Le radar à ondes continues modulées en fréquence :

Le deuxième type de radar à ondes continues est le radar à modulation de fréquence FMCW (frequency modulated Continuous Wave). Comme les systèmes CW il émet et reçoit en permanence un signal mais la fréquence du signal transmis est modifiée en fonction du temps. Son principe repose sur une modulation en fréquence de la porteuse, ce qui introduit un marquage temporel du signal nécessaire à la mesure de distance. Le signal reçu par le radar est retardé d'une durée correspondante à la distance de la cible divisée par la vitesse de la lumière. Son principe est décrit dans la figure I.7.

Le radar FMCW face au radar à impulsion apporte des avantages en termes de puissance émise et facilité de réalisation. Ce qui le différencie principalement du radar à impulsions est sa répartition énergétique de l'onde émise sur une période temporelle plus large. Ainsi le niveau de puissance crête de ces radars FMCW est beaucoup plus faible. Des générateurs de fréquence contrôlés en tension moins gourmands en énergie peuvent être employés par ce radar FMCW apportant aussi une facilité de réalisation. Actuellement, avec le progrès des composants RF et des circuits numériques à base de processeur, la réalisation d'un radar FMCW est de venue possible au sein d'un laboratoire de recherche en électronique [10].

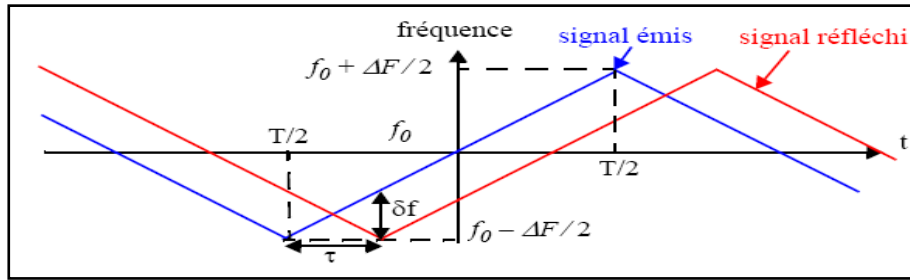


Figure I.7: Principe du radar FMCW.

I.6.1.2. Le radar à impulsion:

Dans leur forme la plus élémentaire, ces radars émettent un signal formé d'impulsions de durée très brève de haute fréquence et de grande puissance. Après l'émission d'une impulsion, suit un temps d'écoute plus ou moins long durant lequel les échos éventuels sont reçus avant qu'une nouvelle impulsion ne soit émise. La direction, la distance et parfois la taille ou l'altitude de la cible peuvent être déterminées à partir du traitement des échos de retour [2, 11]. Dans ce type on peut trouver :

a) Radar visualisation des cibles mobiles:

Un radar à impulsions capable de détecter la cible mobile dans un encombrement spécial en utilisant une fréquence de répétition d'impulsion faible (PRF) [12].

b) Le radar Doppler:

Le radar doppler à micro-ondes est utilisé pour la détection de mouvements physiologiques depuis 1975. C'est la forme la plus simple de radars CW et il utilise l'effet doppler pour détecter la vitesse radiale d'une cible. Il est bien connu que lorsqu'une onde est incidente sur une cible en mouvement, sa fréquence serait décalée d'une quantité appelée fréquence doppler. La figure I.8 illustre le principe de fonctionnement du radar Doppler [13].

$$f_d = \frac{2v}{\lambda}$$

(I-5)

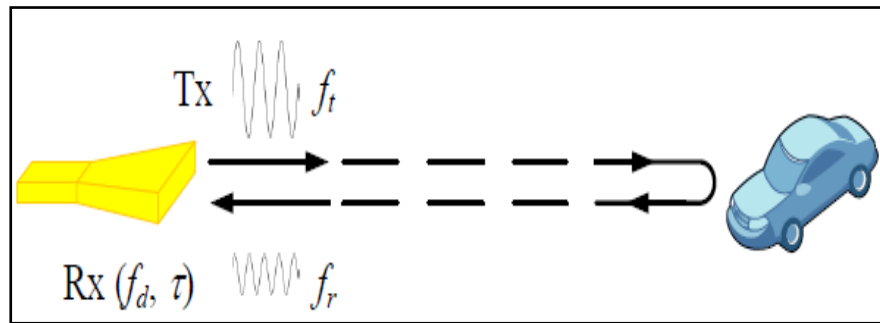


Figure I.8: Principe un radar doppler.

I.6.2. Le radar secondaire :

Les radars connus sous le nom de radars secondaires, dépendent dans leur fonctionnement, d'une réponse de la cible. La plupart de ces dispositifs sont utilisés pour la navigation et les télécommunications [9].

I.6.3. Les radar imageurs et non imageurs :

Un radar imageur permet de présenter une image de l'objet (ou de la zone) observé. Les radars imageurs sont utilisés pour cartographier la terre, les autres planètes, les astéroïdes et les autres objets célestes. Ils offrent aux systèmes militaires une capacité de classification des cibles.

Des exemples typiques de radar non imageur sont les cinémomètres radars (les petits, sur le bord de la route...) et les radios altimètres. Ce type de radar est également appelé diffuseur puisque'il mesure les propriétés de réflexion de la région ou de l'objet observé [14].

I.7. La Surface Equivalente Radar :

La surface équivalente radar (SER) est une mesure de la rétrodiffusion d'un objet et informe sur la détectabilité de la cible par un radar. Plus elle est importante, plus il est facile de détecter l'objet. La SER dépend d'une part de la nature de l'objet à savoir sa forme ainsi que ses matériaux constitutifs, et d'autre part du rayonnement de l'onde émise par le radar à savoir sa fréquence et des angles d'incidence et de réflexion de l'onde puis de l'état de polarisation de l'onde. La formule théorique de la SER notée σ est donnée par la relation exprimée par l'équation suivante [15] :

$$\sigma = \frac{\text{puissance réfléchir vers la source} \div \text{unité d'anglesolide}}{\text{densité de puissance incidente} \div 4\pi}$$

La mesure de la SER d'un objet est faite par l'utilisation inverse de l'équation radar qui relie la puissance reçue de la puissance émise pour une distance R et des caractéristiques de gain G de puissance de réception et d'émission du radar et de sa longueur d'onde λ [10].

$$\sigma = \frac{R^4 (4\pi)^3 P_r}{G^2 \lambda^2 P_e} \quad (I-6)$$

I.8. L'équation générale du radar:

L'équation radar est une notion importante pour l'étude des différents systèmes radars. Le radar localise des cibles qui se caractérisent également par la puissance du signal réfléchi (P_R). Cette équation établissant une relation entre la puissance rétrodiffusée, les caractéristiques du radar, et les propriétés de la cible améliorera la définition de cette dernière. Elle est donnée par relation suivante [3, 16] :

$$P_R = \frac{P_T G_R G_T \sigma \lambda^2}{R^4 (4\pi)^3} \quad [w/m^2] \quad (I-7)$$

Les paramètres qui interviennent dans cette équation sont:

P_R : puissance reçue en watts.

P_T : puissance émise en watts.

G_R, G_T : gain de l'antenne réceptrice et gain de l'antenne émettrice respectivement, avec

$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$, où A_e : est la surface effective de l'antenne.

σ : surface équivalente de radar (SER).

λ : la longueur d'onde en mètre.

R : la distance antenne-cible.

L'équation radar peut renseigner sur la portée maximale R_{max} du radar qui est la distance au-delà de laquelle la cible ne peut être détectée. Si la puissance reçue P_{Rmin} est inférieure à la puissance minimum détectable par l'équipement de récepteur, la cible sera noyée dans le bruit. À l'aide de l'expression (I-7), on peut écrire [3]:

$$R_{max} = \left[\frac{P_T G_R G_T \sigma \lambda^2}{P_{Rmin} (4\pi)^3} \right]^{1/4} \tag{I-8}$$

I.9. Les fréquences du radar:

Le choix des fréquences des radars est dépendant des fréquences de fonctionnement. Les radars peuvent avoir une fréquence allant de quelques mégahertz jusqu'à plusieurs mégahertz. Pendant la deuxième guerre mondiale, et pour garder les secrets militaires, les lettres P, L, S, C, X et K ont été assignées à différentes plages de fréquence. À titre d'exemple, le radar de surveillance d'aéroport ASR-9 a été développé dans la bande S avec une largeur de bande de 200 MHz. Le radar PILOT de la surveillance maritime avec la technologie des ondes continues modulées en fréquence a été développé dans la bande X avec une largeur de bande de 400 MHz [3].

Bande	Plage de fréquence	Applications principales
HF	3-30 MHz	Radar trans-horizon
VHF	30-300 MHz	Détection de longue distance
UHF	300-1000 MHz	Surveillance de longue distance
L	1000-2000 MHz	Surveillance de longue distance
S	2000-4000 MHz	Surveillance, Météorologie, Contrôle du trafic aérien
C	4000-8000 MHz	Contrôle du feu, Localisation/traçage
X	8-12 GHz	Contrôle du feu, Missile air-air, Marine, Météorologie
Ku	12-18 GHz	Contrôle du feu de courte distance, Télédétection (RS), Guidage d'arme
K	18-27 GHz	Télédétection (RS), Guidage d'arme
Ka	27-40 GHz	Télédétection (RS), Guidage d'arme
V	40-75 GHz	Télédétection (RS), Guidage d'arme
W	75-110 GHz	Télédétection (RS), Guidage d'arme
mm	110-300 GHz	Mesure des profils atmosphériques

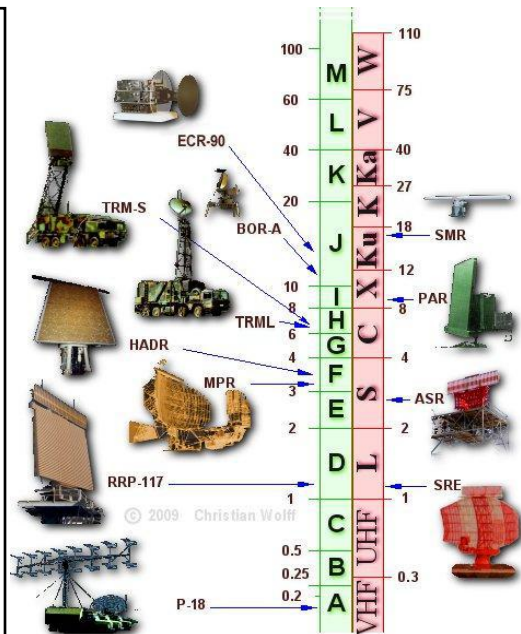


Tableau 1.1 : Les bandes de fréquence radar et leurs applications.

I.10. Application de radar:

Les radars ont une très grande variété d'applications dans de nombreux domaines tels que la surveillance et le contrôle que ce soit dans un contexte civil ou militaire. On utilise par

exemple, le radar pour le contrôle aérien, maritime et routier, météorologie et astronautique pour l'observation de la terre et de sa biomasse. La figure (I.9) recense en grande partie les applications radar actuelles. Pour les applications strictement militaires, on retrouve par exemple les radars de défense aérienne qui détectent et suivent les avions ou missiles représentant un danger ainsi que les radars de contre batterie servant à déterminer le point de départ d'un tir d'artillerie adverse. Il y a d'autre part les radars subsurface, tels que les radars à détection d'objets souterrains et à travers les murs utilisés pour le déminage de terrains et la détection en milieu urbain [17].

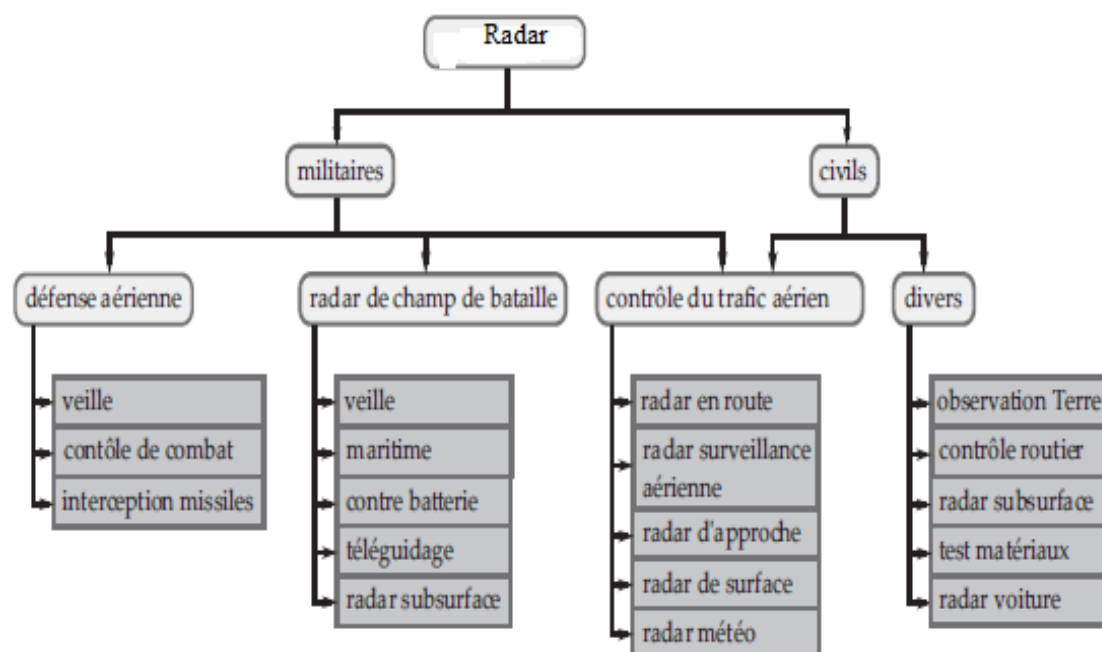


Figure I.9 : Les applications radar.

I.11. Principaux avantages du Radar:

Généralement, les radars ont plusieurs avantages, parmi lesquels on peut citer [15]:

- 1- Les OEM ne sont pas arrêtées par le brouillard ou la pluie (elles subissent pourtant une atténuation qui augmente avec la fréquence).
- 2- La puissance des émetteurs et la sensibilité des récepteurs actuels permettent de grandes portées (plus de 1000 KM).
- 3- Possibilité de télémétrie précise à partir d'une seule station.
- 4- Le radar peut être utilisé dans plusieurs ondes.

I.12. Conclusion:

À travers ce le premier chapitre, nous avons présenté un bref rappel sur le principe de fonctionnement du radar. Ce principe est également mesureur de la vitesse des objets à partir du changement de la fréquence du signal par effet Doppler, la distance, et la position angulaire de la cible. Puis un rappel sur les différents types et les classifications du radar, suivi par une simple étude de l'équation générale du radar, et enfin le soulignement de quelques principales applications.

Chapitre II
Fonction d'ambiguïté et
formes d'onde

II.1. Introduction:

Le système radar est composé de plusieurs éléments, chacun joue un rôle important, il fonctionne au moyen d'un type particulier des formes d'ondes. Le meilleur choix sur les diverses formes d'onde conduisant aux bonnes performances du système radar peut être apprécié par la fonction d'ambiguïté. Cette dernière fait la principale partie qu'on va étudier dans ce chapitre.

II.2. Les composants de système radar:

La figure ci-dessous résume les composants d'un système radar. Les 4 parties importantes du radar qui sont l'émetteur, le récepteur, les antennes avec les composants associés, et la partie traitement du signal de système radar vont être décrites:

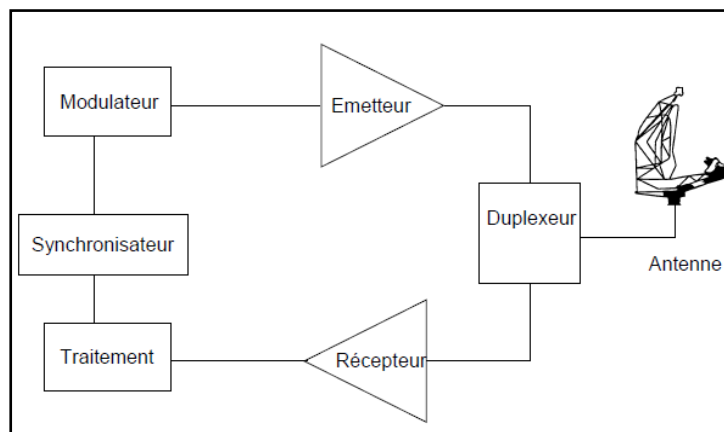


Figure II.1: Les différents composants de système radar.

II.2.1. L'émetteur:

L'émetteur génère une onde électromagnétique lancée à intervalles réguliers (par exemple, toutes les millisecondes) des signaux très brefs (par exemple, 1 microseconde de durée), à une fréquence donnée. Il transforme donc l'énergie électrique fournie par le modulateur et les sources d'alimentation en énergie radioélectrique dans la gamme des radiofréquences destinée à être diffusée par l'antenne. Une partie active est le tube d'émission dans lequel est engendrée l'impulsion hyperfréquence à la fréquence et la puissance désirées. On peut classer les émetteurs de radar en deux grandes catégories [18]:

1. *Les émetteurs oscillateurs de puissance.*
2. *Les émetteurs à chaîne d'amplification.*

II.2.2.1. Le modulateur:

Le modulateur est un circuit électronique qui permet de fractionner le signal radio en pulsations et constitue la partie active de l'émetteur, il fait aussi le stockage de l'énergie entre deux impulsions et la mise en forme de l'impulsion (modulation d'impulsion) [5, 19].

II.2.2. Le duplexeur:

C'est un commutateur électronique [9] qui permet l'utilisation d'une seule antenne pour émettre et recevoir, en transmettant le signal d'émission à l'antenne et le signal capté au récepteur, il se compose de trois ports, et son isolation est un paramètre important pour protéger du signal d'émission la chaîne de réception calibrée pour traiter des signaux de faible amplitude [20].

II.2.3. L'antenne:

L'antenne est un élément qui convertit l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement) et représente un élément fondamentale du radar. Les antennes radars sont toutes faites à partir de sources primaires ou élémentaire qui sont soit installées au foyer d'une optique, soit associées en réseaux. Les sources élémentaires ont presque toujours un rayonnement qui n'est pas très directif (faisceau de rayonnement large). La directivité (finesse du faisceau) est donc obtenue soit par l'optique, soit par l'organisation en réseaux. Les sources élémentaires sont essentiellement les suivantes: dipôle demi-onde, les cornets, hélices, bougie, guides à fentes [21].

II.2.4. Les ondes électromagnétiques:

Un champ électromagnétique est la combinaison de deux composantes : un champ électrique E et un champ magnétique B oscillant dans des plans perpendiculaires. La propagation couplée de ces deux champs est appelée onde électromagnétique (OEM). Ce sont les variations du champ électrique qui servent en général à représenter une onde électromagnétique (les variations de ces deux champs étant liées) [22].

II.2.5. La cible:

La cible est définie par sa taille dans la gamme de fréquence d'émission de l'onde, appelée surface équivalent radar (SER) [23].

II.2.6. Le récepteur:

La fonction du récepteur est d'amplifier ou d'augmenter la résistance des très faibles échos et les reproduire comme signaux vidéo à passer à l'indicateur, mesurer un signal extrêmement faible à une fréquence extrêmement haute. En effet, le signal est converti et amplifié par un circuit superhétérodyne à une fréquence intermédiaire d'environ 30 MHz. La fréquence très élevée du signal radar nécessite l'utilisation d'un oscillateur et d'un mélangeur de signaux avec une précision beaucoup plus élevée que pour les récepteurs radio ordinaires. Des circuits appropriés ont été mis au point, utilisant comme oscillateurs des tubes hautes puissances à hyperfréquences. La fréquence intermédiaire est amplifiée de manière classique [9].

II.2.7. Le traitement:

Exploitation et mise en forme des informations fournies par le récepteur qui sont devisées en deux groupes essentiels [4]:

II.2.7.1. Traitement de signal:

- CFAR (Constant False Alarm Rate)
- Compression d'impulsions
- Traitement Doppler, MTI (Moving Target Indicator)

II.2.7.2. Traitement de données:

- Extraction de données : calcul distance, direction, vitesse des échos reçus
- Traitement de données, génération de pistes à partir des pilotes (filtre de poursuite Kalman).

II.2.8. Synchronisateur:

Le synchronisateur est le cœur du système radar, il a la charge de délivrer les signaux de base qui définissent les instants d'émission, et divers signaux annexes nécessaires aux opérations en temps réel. Son élément de base est une horloge de grande stabilité à partir de laquelle sont engendrés les signaux de synchronisation. Ces signaux sont distribués aux différents éléments à piloter. Leur distribution doit être assurée avec une très grande reproductibilité sur chaque voie, de manière à ne pas fausser les mesures effectuées [4].

II.2.9. L'affichage radar:

La fonction principale de l'indicateur est de fournir un affichage visuel des plages et des paliers des cibles radar à partir desquels des échos sont reçus. Dans Système de radar de base le type d'affichage utilisé est la Position du Plan Indicateur (PPI) qui est essentiellement un diagramme polaire. Les images des échos cibles sont reçues et affichées soit sur leurs roulements relatifs ou véritables, soit sur leurs distances du centre PPI[23] .

II.2.10. Filtre adapté:

Un filtre adapté (matched filter) est le filtre linéaire optimal pour maximiser le rapport signal sur bruit (S/B) pour un signal connu et en présence bruit stochastique. Ces filtres sont souvent utilisés dans la détection d'un signal inconnu en corrélation avec un signal déjà connu dit de « signature » [4].

II.3. La fonction d'ambiguïté:

II.3.1. Définition:

La fonction d'ambiguïté est un outil essentiel qui a été introduit par Ville [24-25] à l'occasion d'un problème de la théorie de la détection en radar qui caractérise les propriétés du signal comme instrument de mesure. La fonction d'ambiguïté décrite, en fonction des variables de retard temporel τ et de la fréquence Doppler f , la réponse du filtre adapté ou niveau du récepteur radar au signal émis $u(t)$ avec comme entrée le signal émis affecté d'un retard τ et d'un Doppler f [26-27]. L'équation mathématique de la fonction d'ambiguïté est définie comme suite:

$$|\chi_u(\tau, f_d)| = \left| \int_{-\infty}^{\infty} u(t)u^*(t + \tau) e^{j2\pi f_d t} dt \right| \quad (\text{II-1})$$

II.3.2. Propriétés la fonction d'ambiguïté:

Les principales propriétés de la fonction d'ambiguïté qui sont mentionnées ci-dessous[26]:

1. une fonction d'ambiguïté idéale présenterait un pic au centre $(\tau, f_d) = (0, 0)$ et serait nulle ailleurs.
2. le maximum de cette fonction, correspondant à l'énergie du signal $u(t)$, est atteint uniquement à l'origine $(0, 0)$.
3. le volume global de cette fonction est constant:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |\chi_u(\tau, f_d)|^2 d\tau df_d = 1 \quad (\text{II-2})$$

4. la fonction d'ambiguïté est symétrique par rapport à l'origine:

$$|\chi_u(-\tau, -f_d)| = |\chi_u(\tau, f_d)| \quad (\text{II-3})$$

5. la fonction d'inter-ambiguïté est la réponse temporelle du filtre adapté appliqué au signal $r(t)$ rétrodiffusé par l'environnement radar:

$$\chi_{r,u}(\tau, f_d) = \int_{-\infty}^{\infty} r(t) u^*(t + \tau) e^{j2\pi f_d t} dt \quad (\text{II-4})$$

II.3.3. Le diagramme de la fonction d'ambiguïté:

On appelle diagramme d'ambiguïté le tracé du module de $\chi_{r,u}(\tau, f_d)$. C'est une représentation de la forme du signal à la sortie du récepteur en l'absence de bruit en fonction du temps et de la fréquence [28].

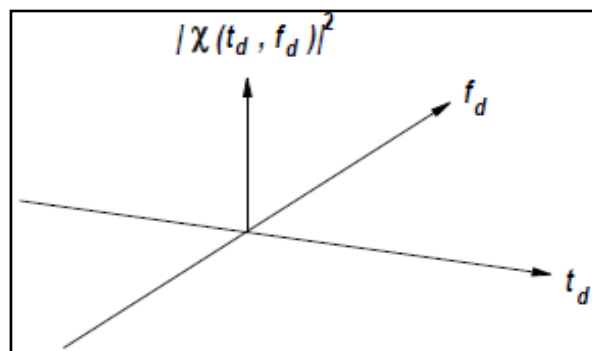


Figure II.2: Le diagramme de la fonction d'ambiguïté.

Pour faciliter le traitement en vue de la détection, le signal émis possède certaines propriétés qui définissent ce que l'on appelle *la forme d'onde*. Afin de pouvoir détecter une cible il est nécessaire de pouvoir relier le signal qu'elle réfléchit à la forme d'onde émise. Pour cela il faut connaître, outre la forme d'onde [1].

II.4. Les formes d'onde:

La forme d'onde exprime la forme du graphe qui est utilisé au niveau du radar et influe de façon significative sur ses performances. Elle doit principalement permettre d'assurer une bonne résolution de cibles et de minimiser les lobes secondaires. Pratiquement, elle doit aussi présenter une certaine robustesse aux contraintes du système comme la complexité supportée au niveau de l'émetteur..., pour classifier des formes d'ondes nous avons utilisé les paramètres suivant [29-30]:

- Le caractère de variation dans le domaine temporel.
- Utilisation de la modulation intra -impulsion.
- Technique de compression d'impulsion.
- Type de codage de fréquence.
- Type de codage de phase.
- La forme de la forme d'onde.
- Etat de discrétisation.

II.4.1. Importance de choix des formes d'ondes:

Pour déterminer les caractéristiques et les propriétés du système radar, il est très important de choisir la bonne forme d'onde parce que ce choix doit être adapté à l'application radar. Nous avons distingué les caractéristiques principales du radar qui dépendent de leur la forme d'onde [31]:

II.4.1.1. Performance:

La performance d'un radar peut être définie par la résolution, la détection de cible, la mesure, et la classification.

II.4.1.1.1. Résolution:

La résolution est la possibilité de séparer les signaux des sources adjacentes. Les exigences de résolution dépendent de la mission radar.

- 1) **Résolution angulaire:** La résolution angulaire est la possibilité de séparer les cibles à la même portée mais sur des roulements différents.
- 2) **Résolution Doppler:** La résolution Doppler est la séparation minimale dans les vitesses radiales de deux cibles détectées que le récepteur radar peut distinguer.
- 3) **Résolution de fréquence:** La résolution de fréquence est le pouvoir du récepteur à détecter deux signaux ou plus qui ne diffèrent séparément que sur la fréquence. La résolution est généralement spécifiée comme la largeur de la courbe de fréquence-réponse mesurée à -3dB (demi-puissance) sous le lobe de réponse principal.
- 4) **Résolution de la portée:** La résolution de portée d'un système radar est la séparation minimale résoluble, dans la plage, de deux cibles du même palier. La résolution de portée dépend de la largeur d'impulsion transmise, la section transversale cible.

II.4.1.1.2. Mesure:

La mesure du radar est le processus d'estimation des paramètres cibles, qui sont les coordonnées angulaires, la portée, la vitesse radiale et la section transversale du radar que nous avons bien expliqué dans le chapitre précédent.

II.4.1.1.3. Classification:

La classification de la cible est une caractéristique importante des radars modernes, qui non seulement peuvent détecter la position cible, mais aussi classer le type de cible.

II.4.1.2. Facteurs de choix des formes d'onde:

Il existe un ensemble de facteurs qui influent sur le choix des formes d'ondes radar. Lorsque vous essayez de choisir une forme d'onde spécifique, ces facteurs doivent être adaptés. Ces facteurs comprennent la couverture, la résolution, la mesure, le coût et la complexité du système. On peut récapituler l'ensemble de ces facteurs en ce qui suit: [32]

- 1) La couverture de portée.
- 2) La couverture doppler.
- 3) Probabilité de détection.
- 4) La capacité de résolution.
- 5) La mesure d'erreurs.
- 6) Rejet des interférences.
- 7) Modes de fonctionnement améliorés.

8) Complexité et coût de la production et du traitement.

II.4.2. Types des formes d'onde:

Il y a plusieurs types formes d'ondes qui sont employées dans le système radar et qui peuvent être classées en deux groupes distincts: les formes d'onde dites à ondes continues et les formes d'onde impulsionnelles, chaque forme d'onde peut être modulée ou non modulée.

II.4.2.1. Formes d'onde continue:

Le premier groupe des formes d'onde est l'onde continue qui correspond à une amplitude et fréquence constantes, en analyse mathématique de durée infinie. Il contient plusieurs types (cos, sinus, ...). La forme d'onde en cos est la plus répandue [33]. Son expression mathématique est représentée comme suit:

$$E(t) = E_0 \cos(\omega_0 t) \quad (\text{II-5})$$

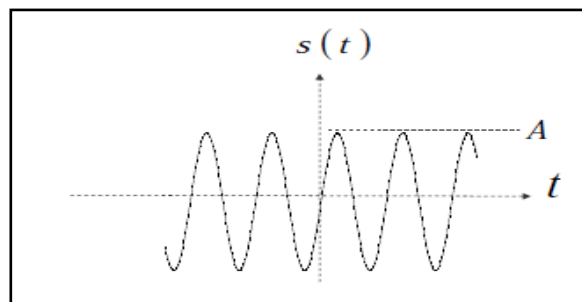


Figure II.3: Forme d'onde en cos.

II.4.2.2. Formes d'onde à impulsion:

Le deuxième groupe des formes d'onde correspond aux ondes impulsionnelles qui présentent un support temporel fini et de courte durée. Ces formes d'onde ont une durée d'émission T_p très courte par rapport au temps émis par l'onde pour parcourir la distance entre l'antenne d'émission et l'objet rétrodiffusant puis entre cet objet et l'antenne de réception [34].

a) Le signal impulsion rectangulaire:

La forme d'onde la plus simple pour un système de radar est probablement une forme d'onde impulsion rectangulaire. Pour cette forme d'onde la largeur d'impulsion est l'inverse de la bande passante. Ce type de forme d'onde est représenté comme suit :

$$S(t) = s(t)e^{j2\pi f_0 t} \quad (\text{II-6})$$

Où $s(t)$ est l'enveloppe complexe du signal, définie comme suit:

$$s(t) = \begin{cases} 1 & \text{pour } -T/2 \leq t \leq T/2 \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (\text{II-7})$$

Avec T est la largeur de l'impulsion

Sa fonction d'ambiguïté a pour expression:

$$|\chi(\tau, f_d)| = \left| \int_{\tau}^T e^{j2\pi f_d t} dt \right| = \left| \frac{\sin(\pi \cdot f_d (T - |\tau|))}{\pi \cdot f_d (T - |\tau|)} \right| \cdot \left| \frac{T - |\tau|}{T} \right| \quad (\text{II-8})$$

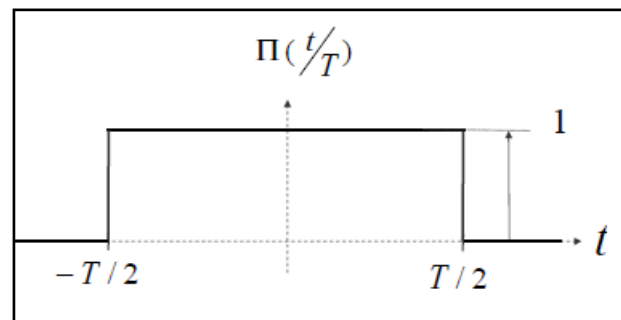


Figure II.4: Forme d'onde à impulsion rectangulaire.

b) Le train d'impulsions:

Le train d'impulsions est composé d'une simple impulsion rectangulaire se répète à des intervalles réguliers, c'est-à-dire N impulsions uniformes de durée T . Le train d'impulsions est utilisé souvent dans les systèmes de radars modernes par ce qu'il conduit à l'augmentation de la durée du signal ce qui permet ainsi d'améliorer la résolution Doppler. Ce type de forme d'onde est représenté comme suit [34] :

$$S(t) = \sum_{n=0}^{N-1} s(t - nt_1)e^{j2\pi f_0 t} \quad (\text{II-9})$$

La fonction d'ambiguïté de ce type de signaux peut s'écrire ainsi:

$$|\chi(\tau, f_d)| = \left| \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} e^{j2\pi f_d n t_1} \int_{-\infty}^{\infty} s(t_2) \cdot s^*(t_2 - (m-n)t_1 - \tau) e^{j2\pi f_d t_2} dt_2 \right| \quad (\text{II-10})$$

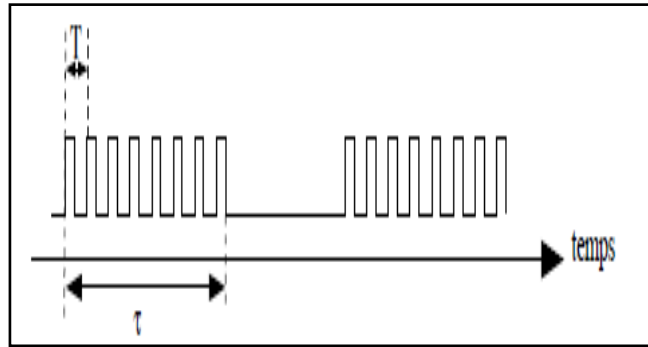


Figure II.5: Forme d'onde train d'impulsions.

c) **Impulsion modulée linéaire en fréquence (LFM):**

L'idée de base de ce type de signaux qu'on désigne sous le nom signal FML (Fréquence Modulée Linéairement) est de balayer la bande de fréquence linéairement pendant la durée de l'impulsion T. Ce signal est couramment utilisé pour augmenter la précision dans la mesure de la portée et la résolution lorsque de longues impulsions sont nécessaires pour obtenir des raisonnables rapports signal à bruit. L'impulsion FML peut être représentée mathématiquement comme [29]:

$$S(t) = s(t) e^{j2\pi \left(f_0 t + \frac{kt^2}{2} \right)} = \left(s(t) e^{j\pi k t^2} \right) \cdot e^{j2\pi f_0 t} \quad (\text{II-11})$$

avec k est le taux de variation de fréquence en [Hz /s]

Sa fonction d'ambiguïté s'écrit:

$$|\chi(\tau, f_d)| = \left| \int_{-\infty}^{\infty} s(t) s^*(t - \tau) e^{j2\pi (f_d - k\tau) t} dt \right| \left| \frac{\sin(\pi \cdot (f_d + \tau/k) \cdot (T - |\tau|))}{\pi \cdot (f_d + \tau/k) \cdot (T - |\tau|)} \right| \left| \frac{T - |\tau|}{T} \right| \quad (\text{II-12})$$

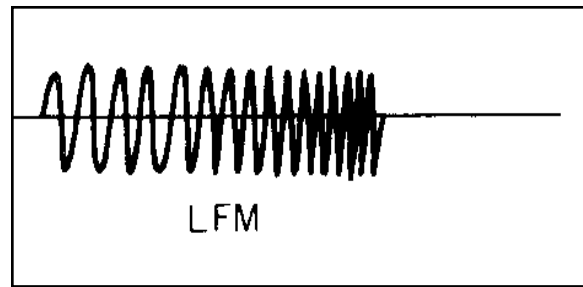


Figure II.6: Forme d'onde impulsion modulée linéairement en fréquence.

d) Impulsion Gaussienne :

La impulsion gaussienne est réponde à une loi normale de moyenne m et d'écart type, il représentée mathématiquement comme suit:

$$s(t) = \exp\left(-\frac{\pi t^2}{2\tau_e^2}\right)$$

(II-13)

Sa fonction d'ambigüité décrite comme suit:

$$|\chi(\tau, f_d)| = \exp\left(-2\pi\left(\frac{\tau_d^2}{4\tau_e^2} + \tau_e^2 f_d^2\right)\right)$$

(II-14)

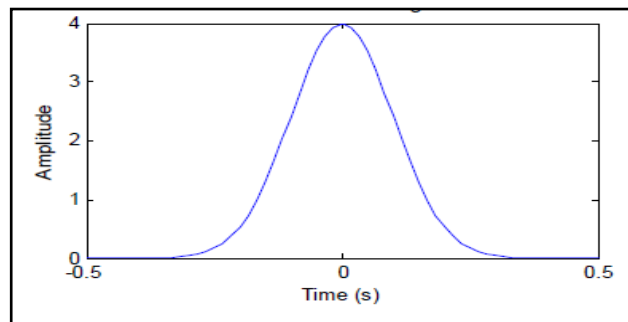


Figure II.7: Forme d'onde à impulsion Gaussienne.

II.5. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté la conception générale de système radar, ensuite nous avons expliqué la notion de la fonction d'ambigüité, son diagramme d'ambigüité, et ses principales propriétés. Finalement, nous avons pu distinguer les formes d'ondes de base tout en décrivant leurs modèles mathématiques, et nous avons aussi vu qu'il y a certains paramètres spécifiques pouvant faire la différence dans la forme des signaux utilisés par le radar.

Chapitre III

Résultats de simulation

III.1. Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats de simulation concernant les fonctions d'ambiguïtés des systèmes radar qui sont déjà étudiées au 2^{ème} chapitre de ce mémoire. Les graphes obtenus dépendent essentiellement de types de forme d'ondes émises par le radar. De plus, ces résultats de simulation sont obtenus par l'emploi du logiciel Matlab au moyen duquel on a fait la programmation des expressions et modèles mathématiques correspondant à notre étude. Dans le présent chapitre, il y a d'une part, des exemples pour les formes d'onde non modulée, et d'autre part, des exemples pour les formes d'onde modulée.

III.2. Impulsion d'amplitude pondérée par cosinus:

Cet exemple vise à montrer différents graphes concernant la fonction d'ambiguïté d'un signal à impulsion d'amplitude pondérée par cosinus dont la largeur de l'impulsion égale à 1 microseconde.

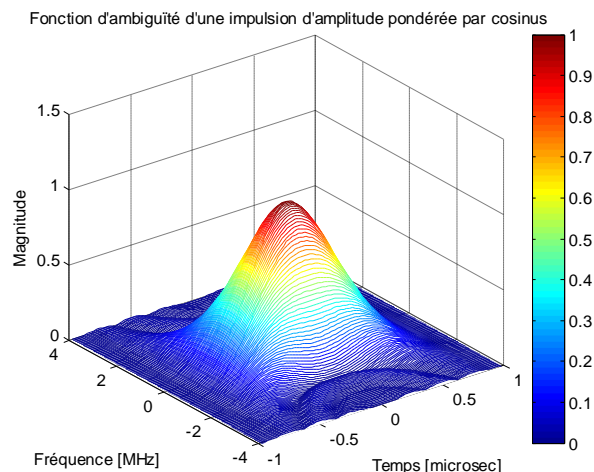


Figure III.1: Représentation tridimensionnelle de la fonction d'ambiguïté pour un signal radar à impulsion d'amplitude pondérée par cosinus.

La figure III.1 donne une représentation tridimensionnelle qui est la surface de fonction d'ambiguïté en termes du temps et de Doppler. A partir de cette figure, on peut remarque que la valeur maximale est à l'origine où le retard et la fréquence sont égales à zéro. De plus, on voit un lobe principal large et des lobes secondaires est très faibles indiquant la bonne détection de cibles.

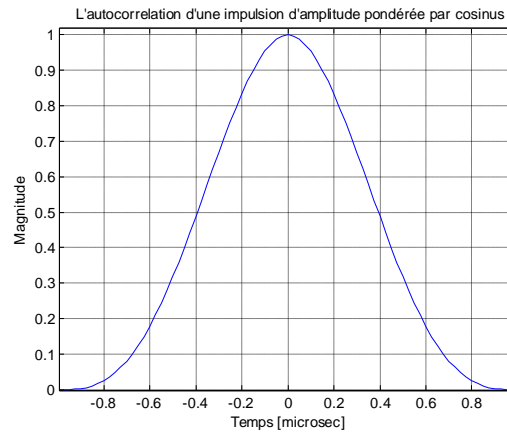


Figure III.2: Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion d'amplitude pondérée par cosinus.

La figure III.2 représente l'évolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion d'amplitude pondérée par cosinus qui est la fonction d'auto-corrélation de cette forme d'onde obtenue à partir de la coupe portée de la fonction d'ambiguïté. Dans ce cas, nous constatons dès que la coupe portée se prolonge le long de l'axe du temps entre $-0.8\mu\text{-sec}$ et $+0.8\mu\text{-sec}$, des cibles proches pourraient être distinguées.

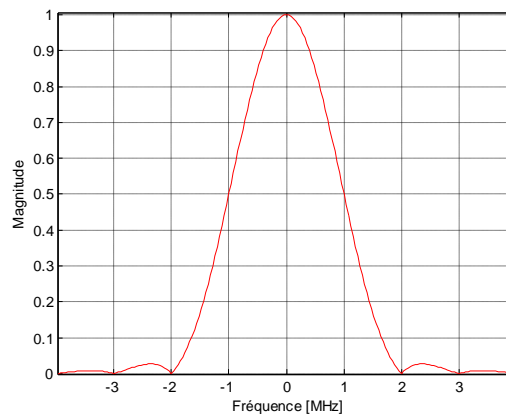


Figure III.3: Evolution spectrale de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion d'amplitude pondérée par cosinus.

La figure III.3 montre la coupe Doppler du graphe 3D de la fonction d'ambiguïté qui est obtenue en mettant $\tau = 0$ dans la fonction d'ambiguïté. Ce graphe est d'une grande importance car il informe sur de la résolution fréquentielle de la forme d'onde tout en constatant que la pondération a permis de réduire les lobes secondaire de la coupe en fréquence.

III.3. Impulsion d'amplitude pondérée par cosinus modulée linéairement en fréquence:

Dans cet exemple on a supposé que le signal émis est une impulsion d'amplitude pondérée par cosinus et modulée linéairement en fréquence ce qui nous permet d'obtenir les figures suivantes:

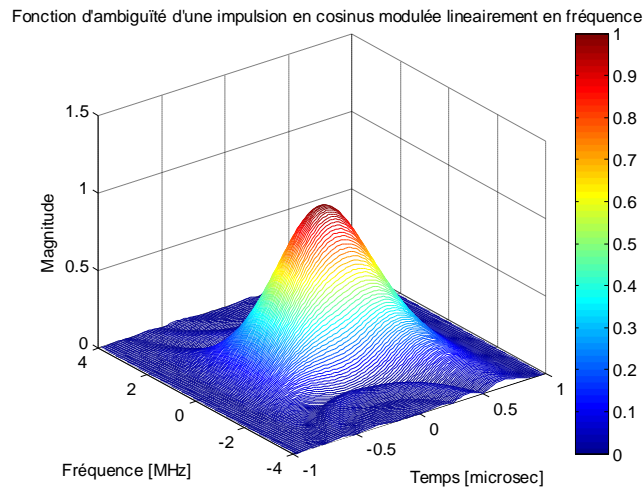


Figure III.4: Représentation tridimensionnelle de la fonction d'ambiguïté pour un signal à impulsion d'amplitude pondérée par cosinus et modulée linéairement en fréquence.

La figure III.4 illustre une représentation 3-D de la surface de fonction d'ambiguïté en termes du temps et de Doppler. Comparativement à la figure III.1, le lobe principal est étroit et les lobes secondaires sont très faibles pouvant être considérés négligeables.

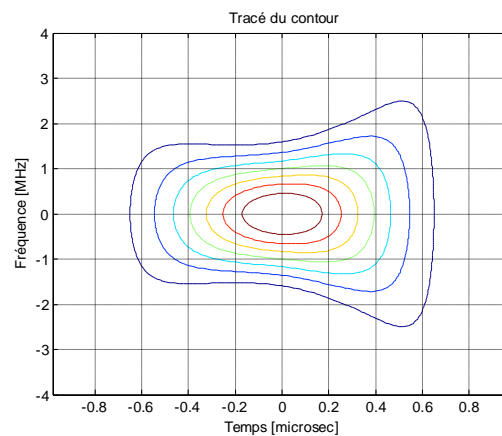


Figure III.5: Graphe de contour du diagramme d'ambiguïté pour le signal d'impulsion d'amplitude en cosinus modulée linéairement en fréquence.

Grace à la figure III.5 du contour, on peut bien voir la symétrie par rapport à l'origine de fréquence mais la non-symétrie par rapport au temps.

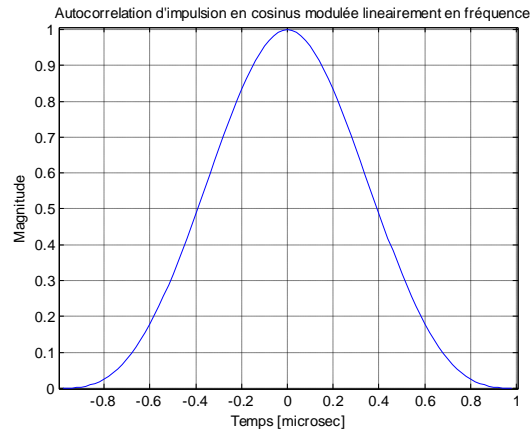


Figure III.6: Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion d'amplitude en cosinus modulée linéairement en fréquence.

La figure III.6 représente de sa part l'évolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion d'amplitude pondérée par cosinus modulée linéairement en fréquence, dans ce cas où $F = 0$ on peut affirmer la deuxième propriété de la fonction d'ambiguïté qui est la somme globale égale à 1.

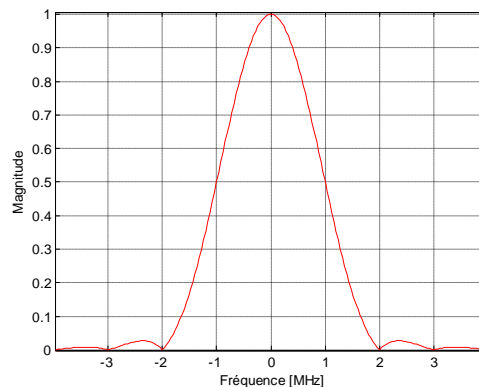


Figure III.7: Evolution spectrale de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion d'amplitude en cosinus modulée linéairement en fréquence.

La figure III.7 représentant le spectre (la coupe Doppler) ressemble à la courbe d'un signal sinus cardinal avec des lobes secondaires réduits.

III.4. Impulsion rectangulaire simple:

Soit une impulsion rectangulaire non modulée en fréquence du duré $T = 1$ microseconde, on obtient les différents graphes concernant la fonction d'ambiguïté suivant:

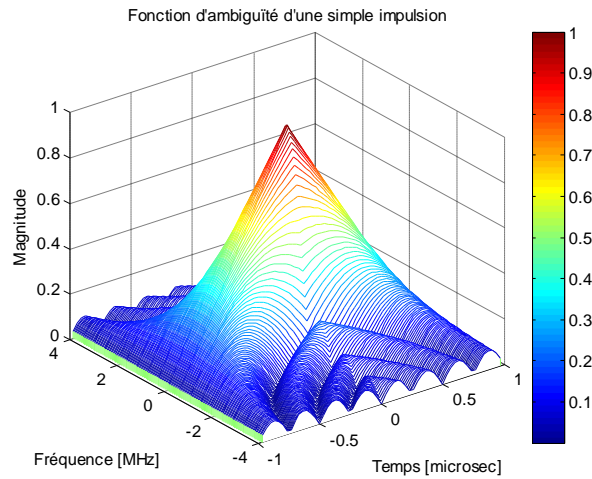


Figure III.8: Représentation tridimensionnelle de la fonction d'ambiguïté pour un signal à simple impulsion rectangulaire.

À partir de la figure ci-dessus, on voit que la valeur maximale est à l'origine lorsqu'à la fois le retard et la fréquence sont égales zéro. De plus, La surface a un lobe principal large et des lobes secondaires faibles et négligeables ce qui indiquent la bonne détection de cibles et l'évitement de tomber dans une fausse détection.

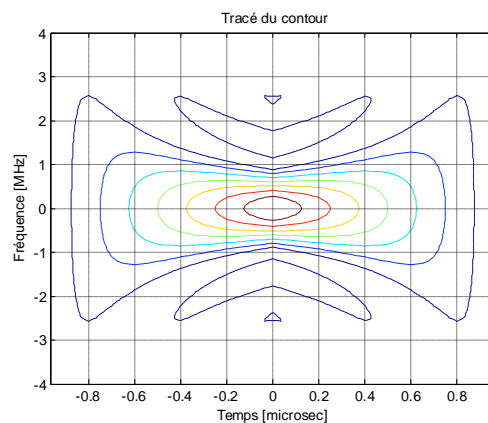


Figure III.9: Graphe de contour du diagramme d'ambiguïté pour le signal d'une simple impulsion rectangulaire.

En comparant au graphe du contour de figure III.5, on voit la symétrie par rapport à l'origine qui est l'une des principales propriétés d'une fonction d'ambiguïté.

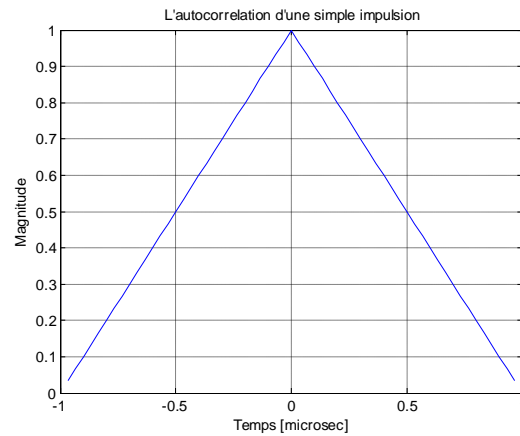


Figure III.10: Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une simple impulsion rectangulaire.

La coupe portée de la fonction d'ambiguïté de l'impulsion rectangulaire simple est un triangle (l'auto-corrélation d'un rectangle est un triangle) avec la largeur d'impulsion est l'inverse de la bande passante et la coupe portée se prolonge le long de l'axe du temps entre $-1 \mu\text{-sec}$ et $+1 \mu\text{-sec}$, des cibles proches devraient être sans ambiguïté si elles ont au moins $1 \mu\text{-sec}$ d'écart. Cela signifie que cette forme d'onde rectangulaire peut résoudre deux cibles ayant au moins un écart de $1 \mu\text{-seconde}$.

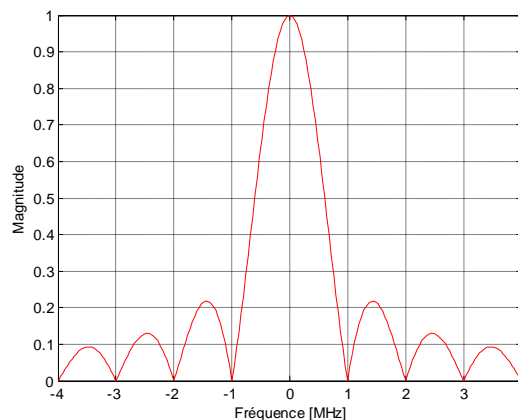


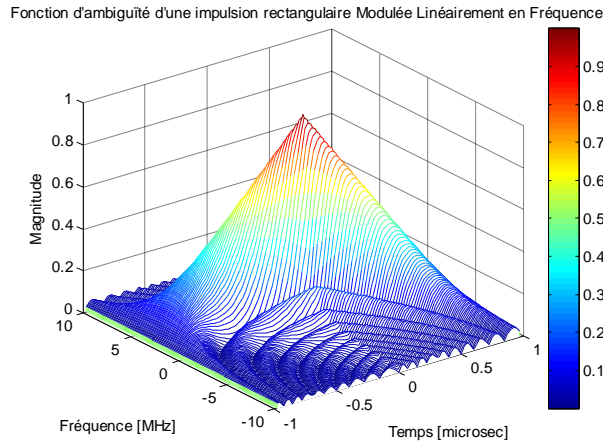
Figure III.11: Evolution spectrale de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une simple impulsion rectangulaire.

La représentation du spectre (appelée aussi coupe Doppler de la fonction d'ambiguïté) du signal d'impulsion rectangulaire qui est illustrée par la figure ci-dessus est similaire à la représentation graphique d'une fonction sinus cardinal avec des séparations qui indique la résolution.

III.5.

**modulée
fréquence :**

Dans ce
une onde
rectangulaire
en fréquence
l'impulsion

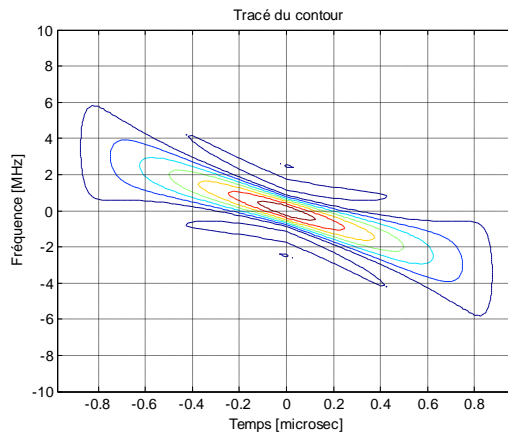


**Impulsion
rectangulaire
linéairement en**

cas, nous avons simulé
émise impulsion
modulée linéairement
dont la largeur de
est de 1 microseconde.

Figure III.12:
tridimensionnelle de
d'ambiguïté pour un
rectangulaire
en fréquence.

En compare au
fonction

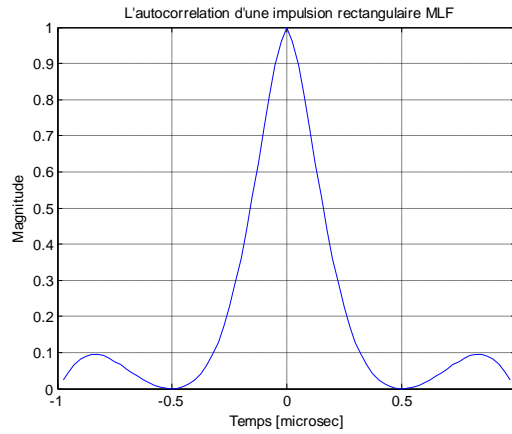


Représentation
la fonction
signal à impulsion
modulée linéairement

diagramme 3-D de la
d'ambiguïté de la

forme d'onde rectangulaire simple non modulée, la surface de la forme d'onde FML présente un lobe peu étroit et légèrement incliné. L'inclinaison indique une meilleure résolution dans la coupe de temps nul. Cette inclinaison peut être clairement illustrée dans la figure III.12.

Figure III.13:
diagramme
signal à impulsion
linéairement en



Graphe de contour du
d'ambiguïté pour le
simple modulée
fréquence.

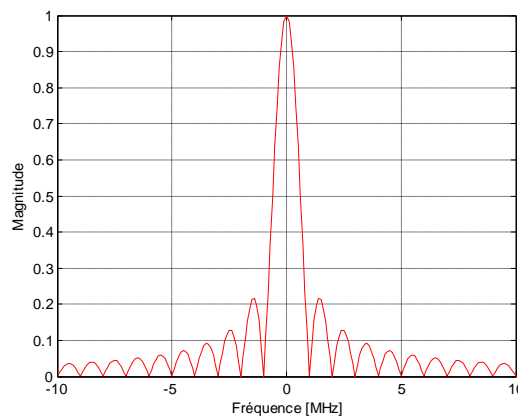


Figure III.14:

de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion simple rectangulaire modulée linéairement en fréquence.

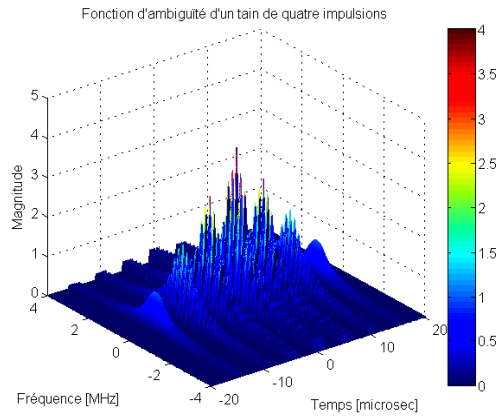
Evolution temporelle

La figure III.14 représente la courbe de l'auto-corrélation temporelle du signal FML. En visualisant cette figure, nous pouvons voir la bonne résolution du signal utilisé. Nous pouvons employer la séparation entre les premiers nuls pour mesurer graphiquement cette résolution.

Figure III.15: réponse du cas d'une rectangulaire fréquence.

La figure III.15 de la courbe de est obtenue en fonction

d'une grande importance car il informe sur de la résolution fréquentielle de la forme d'onde.



Evolution specrale de la récepteur radar dans le impulsion simple modulée linéairement en

montre la coupe Doppler fonction d'ambiguïté qui mettant $\tau = 0$ dans la d'ambiguïté. Ce graphe

III.6. Train d'impulsions:

Dans cet exemple, on a un signal train d'impulsions. Il contient une succession de 4 impulsions rectangulaires de largeur de 1 microseconde et ayant un espacement inter-impulsions égale à 5 microsecondes

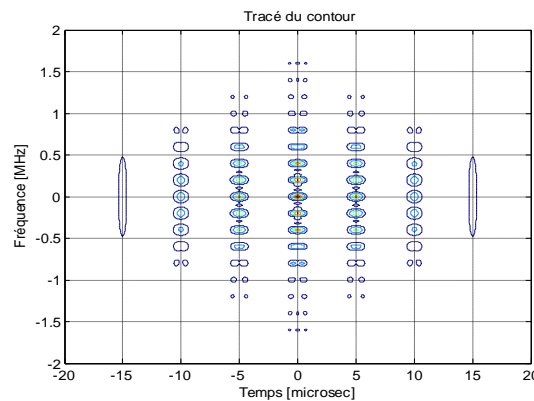
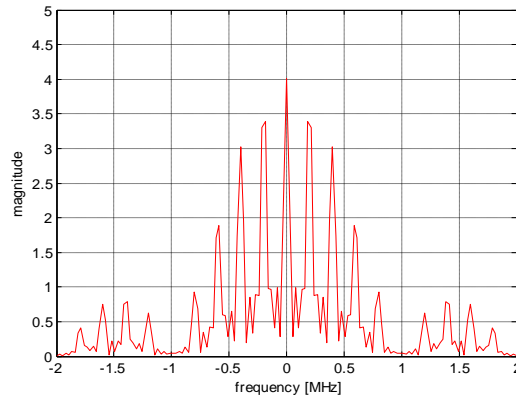


Figure III.16: Représentation tridimensionnelle de la fonction d'ambiguïté pour un signal train de quatre impulsions.

La figure III.16 est la fonction d'ambiguïté en 3-D. On voit plusieurs lobes récurrents dus au train d'impulsions séparées par la période de répétition. La valeur de cette dernière est un facteur important par ce qu'il contrôle la position des lobes récurrents.

Figure III.17:
diagramme
train de quatre

Cette figure
impulsions et la



Graphe de contour du
d'ambiguïté pour le signal
impulsions.

illustre les différentes
position de chacune.

Figure III.18: Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'un train de quatre impulsions.

Le graphe de la figure III.18 montre qu'il contient plusieurs impulsions triangulaires; la séparation entre chaque deux impulsions consécutives égale à la période de répétition de récurrence. Cependant, toutes les impulsions ont la même largeur mais leurs hauteurs décroissent proportionnellement avec l'augmentation de la distance par rapport à l'origine.

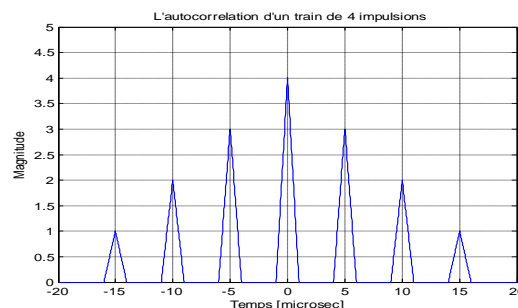


Figure III.19:

réponse du récepteur radar dans le cas d'un train de quatre impulsions.

Evolution spectrale de la

Une meilleure efficacité spectrale peut être visualisée dans la figure III.19 si on la compare avec les spectres des figures III.11 et III.15 qui contiennent beaucoup de lobes secondaires.

III.7. Impulsion Gaussienne non modulée:

Dans cet exemple, nous avons les graphes de la fonction d'ambiguïté d'un signal à impulsion module en fréquence 0.5 microseconde.

gaussienne non dont sa largeur égale à

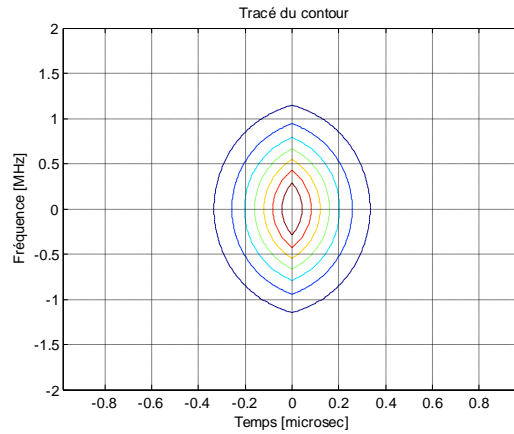


Figure III.20: Représentation tridimensionnelle de la fonction d'ambiguïté pour un signal radar à impulsion gaussienne non module.

Son allure est symétrique en fréquence et en temps comme montre la figure III.21, et ses coupes à $\tau = 0$ ou $F = 0$ sont des courbes de Gauss comme il est montré par la figure III.22 et la figure III.23, respectivement.

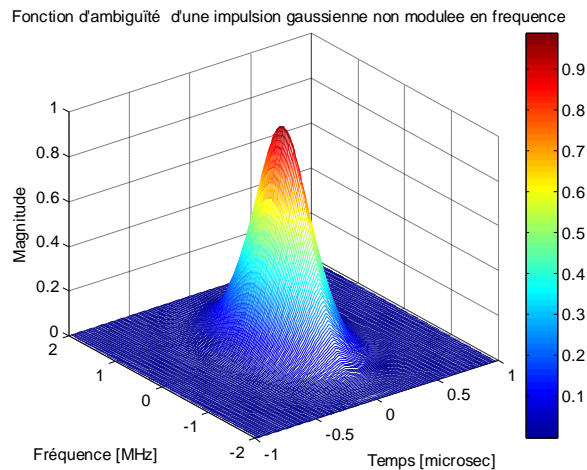


Figure III.21: Graphe de contour du diagramme d'ambiguïté pour le signal d'impulsion gaussienne non modulée.

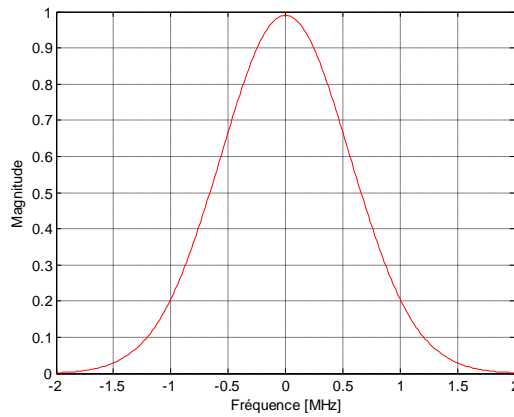


Figure III.22: Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d’une impulsion gaussienne non modulée.

Nous pouvons remarquer également l’absence des lobes secondaires car, en effet, une impulsion gaussienne est équivalente à une impulsion rectangulaire simple mais pondérée. Et l’objectif principal de la pondération est de réduire au maximum les lobes secondaires.

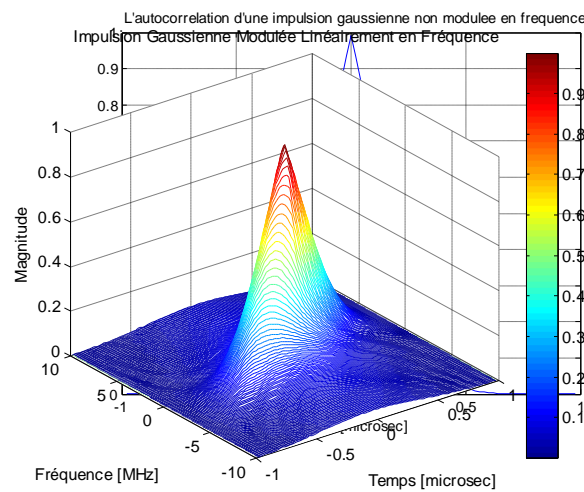


Figure III.23: de la réponse du le cas d’une

gaussienne.

Evolution spectrale récepteur radar dans impulsion

III.8. Impulsion Gaussienne modulée en fréquence:

Maintenant, on se place dans le cas d’une impulsion dont l’amplitude n’est pas constante comme celle de l’impulsion rectangulaire, mais elle est pondérée par une loi de Gauss, et de plus modulée linéairement en fréquence.

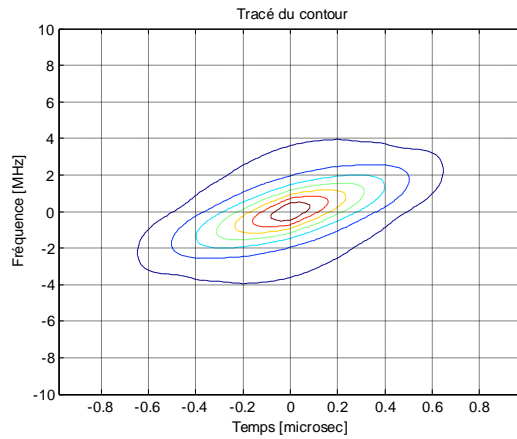


Figure III.24: tridimensionnelle d'ambiguïté pour

Représentation de la fonction un signal radar

impulsion gaussienne modulé en fréquence.

Le contour montré par la figure III.25 ressemble à celui de la figure III.21 mais avec une légère inclinaison due à l'effet de la modulation en fréquence.

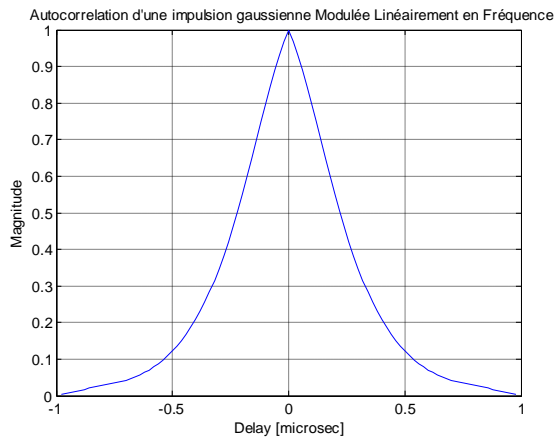


Figure III.25: Graphe de contour du diagramme d'ambiguïté pour le signal d'impulsion gaussienne modulée en fréquence .

Figure III.26: Evolution temporelle de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion gaussienne modulée en fréquence.

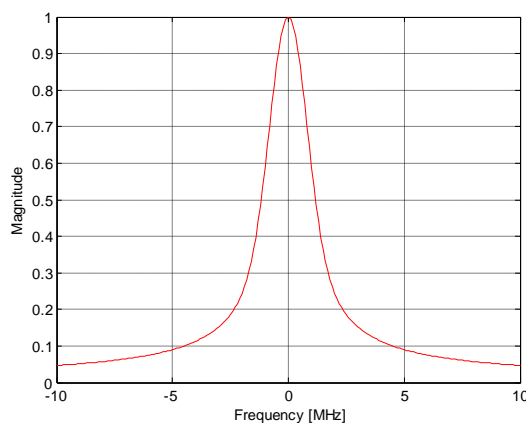
Figure III.27: Evolution spectrale de la réponse du récepteur radar dans le cas d'une impulsion gaussienne modulée en fréquence.

L'allure de contour (voir la figure III.25) est symétrique en fréquence et en temps. Les coupes données par la figure III.26 pour $\tau = 0$, et la figure III.27 pour $F = 0$ sont des courbes de Gauss.

III.9.

A partir de et présentées dans constaté que la signal radar émis d'auto-corrélation temps et fréquence, propriétés d'onde. Cette

choix de la forme d'onde émise la plus adaptée pour améliorer les performances et les spécifications souhaitées du radar.



Conclusion:

simulations effectuées ce chapitre, nous avons fonction d'ambiguïté du représente une fonction bidimensionnelle en et caractérise les intrinsèques de la forme fonction conduit au bon

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail de recherche est présenté pour objectif de proposer une étude et une simulation d'un système radar avec des meilleures performances. A cet effet, nous avons met les points sur différentes formes d'ondes radars qui amènent à aboutir les meilleures performances.

Dans notre manuscrit et étude, le premier chapitre est consacré à des généralités sur le radar à travers lesquelles on trouve le principe de ce système et ses différents types. L'utilisation de ces types est variable selon le domaine d'applications et les bandes des fréquences attribuées.

Nous avons dédié le deuxième chapitre à la composition du système radar tout en décrivant le rôle de chaque élément composant. Dans ce cadre, nous avons offert une présentation générale sur la fonction d'ambiguïté (définition, propriétés...) et les différentes formes d'onde utilisées à l'émission du radar. Le chapitre contient, en même temps, des formalismes mathématiques bien utiles pour le dernier chapitre.

Dans le troisième chapitre, nous avons simulé, à l'aide du logiciel de programmation Matlab, plusieurs fonctions d'ambiguïté et chacune d'elles est en fort rapport avec le type de signal ou bien la forme d'onde employée. A partir des exemples de simulation effectués, nous avons obtenus des résultats qui nous permettent de constater que la fonction d'ambiguïté conduit au bon choix de la forme d'onde émise la plus adaptée, et donc la possibilité d'avoir un compromis entre la précision de la vitesse et de la portée de l'objet détecté.

Finalement, les remarques soulignées durant cette étude et simulation peuvent être récapitulées en ce qui suit :

- 1) La représentation de la fonction d'ambiguïté conduit à l'obtention de deux importantes courbes (graphes) l'une liée au temps et l'autre liée à la fréquence.
- 2) L'utilisation d'une forme d'onde pondérée aide à réduire les lobes secondaires de la fonction d'ambiguïté, ce genre de lobes peut masquer une cible si elle se trouve dans la même direction que lui, et donc peut minimiser la probabilité de détection du radar.
- 3) La résolution en distance, qui est la capacité d'un radar à distinguer deux ou plusieurs cibles situées dans la même direction mais à des distances différentes, est inversement proportionnelle à la bande passante du signal alors que la résolution en fréquence est inversement proportionnelle à la durée du signal.

- 4) Un radar utilisant un train d'impulsion a la capacité de détecter plusieurs cibles.
- 5) Un signal modulé linéairement en fréquence mène à un spectre d'ambiguïté ayant un lobe principal plus fin qui indique une bonne résolution déterminant une meilleure séparation entre les cibles.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Laurent Déjean , «Détection de petites cibles marines en milieu côtier par radar naéroporté », Thèse doctorat de Telecom Bretagne, 10 novembre 2009.
- [2] INRS, « Champs électromagnétique », Eddition 4212,décembre 2013.
- [3] M. Deban Ramin, « Analyse et développement de radar a diversité spatiale :applications a l'évitement de collisions de véhicules collisions et au positionnement local » , Thèse doctorat Génie électrique , Université de Montréal , L'avril 2010.
- [4] MrS, Muguelati , « cour radar» , 5^{eme} Année ingénieur, Université Blida, 2009/2010.
- [5] B. Atrouz, « Les Systems radar » , Ecole militaire polytechnique.
- [6] J. Darricau, « physique et théiore du radar »,3^{eme}edition 1984 ,chapitre 8,page 2.
- [7] D.K. Barton, H.R Ward, « Handbook of Radar Measurement », Electronic Edition, Artech House, 1984.
- [8] Beatriz Amante Garcia, « Conception d'un radar d'aide a la conduite automobile utilisant un système discriminateur de fréquence type "six-port" », mémoire Engineering Sciences [physics]. Telecom Paris Tech, 16 Apr 2004.
- [9] Achbi Med, Abdou Abadli, A/Moutaleb , «Analyse des performances des détecteurs ca, os et ml-cardans un clutter de distribution » ,Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Automatique, Université Mohamed khaidar-Biskra, Promotion2007.
- [10] Franck Chebila , «Lecteur Radar pour Capteurs Passifs à Transduction Radio Fréquence» , Thèse doctorat Micro Ondes, Electro Magnétisme et Optoélectronique , université de Toulouse, 31 Mars 2011 .
- [11] Marua chami, «Suppression d'ambiguïté dans les images SAR», mémoire en électronique et télécommunication, université Libanaise Faculté de Génie en convention avec Télécom Bretagne.
- [12] Hamet Bastien ,Obriot Nicolas, « Signal modeling and foundations of Near-field Naval MIMO radar for small targets discrimination », Master thesis In Mobile Communication systems department of electronic systems alborg university, may 2012.

- [13] Han Liang , « integrated communication and radar scheme for future intelligent transportation systems », These Ph.D. génie électrique , Université de Montréal ,Juin 2011 .
- [14] www.radartutorial.
- [15] Brahim Boudmouz, « Contribution à l'étude de nouvelles techniques de radar MIMO pour la détection de cibles en contexte urbain (à l'intérieur des bâtiments) », Thèse doctorat Signal, image, acoustique et optimisation ,Université Toulouse, lundi 11 mars 2013.
- [16] H ,Sauvgeot, « Radar Météorologie», Eddition eyrolles, 1981.
- [17] E ,Moldovan, « Nouveau senseur radar anticollision à 94 ghz en technologie six-port » , mémoire génie électrique, École Polytechnique de Montréal, Département du génie électrique, 2006.
- [18] J. Darricau, « physique et théiore du radar »,3^{eme} edition 1984 ,chapitre 4,page2
- [19] Jean-Claude Souyris, CNES, « Service Altimétrie et Radarm » , Janvier 2011
- [20] Geoffroy Mangin, « Le Etude d'un radar cohérent fonctionnant en mode pulsé : application à la surveillance maritime » , Thèse doctorat de Électronique , Université Montpellier2, 8 Mars 2013.
- [21] J. Darricau, « physique et théiore du radar»,3^{eme} edition 1984 –chapitre 5,page4
- [22] Jean-François récoché, Dossier thématique n°5 – Radars et effet Doppler .
- [23] Merrill I. Skolnik , « introduction to radar système », Second Edition, 1980.
- [24] N. Levanon, and A. Mozeson, « Radar signal » ,2004.
- [25] F. C. Robey, « MIMO radar theory and experimental results Conf. Record th Asilomar Conf. Signals, Systems & Computers, Pacific Grove, CA» ,mémoire Nov 2004.
- [26] B. R. Mahafza, A. Elsherbeni, « MATLAB simulations for radar systems design », CRC press, 2003.
- [27] B. Chen, J. Wu, « Synthetic Impulse and Aperture Radar (SIAR): A Novel Multi-frequency MIMO Radar», 2014.
- [28] Merrill I. Skolnik, « introduction to radar système », Second Edition 1980, p. 413.
- [29] N. Touati, « Optimisation des formes d'ondes d'un radar d'aide à la conduite automobile, robustes vis-à-vis d'environnements électromagnétiques dégradés» ,thèse électronique , Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis,

- 2015.
- [30] D. K, Barton, S. A , « Leonov, Radar Technology Encyclopedia », Artech House, 1998, page 472.
- [31] D. K. Barton, S. A . « Leonov, Radar Technology Encyclopedia », Artech House, 1998, page 402.
- [32] Jalal Al-Roomym, Akram Abu- Raidam, « waveformgeneration » ,January 2010.
- [33] <http://en.wikipedia.org/wiki/Waveform>.
- [34] Vishal Riché, « Etude et realisation d'un systeme d'imagerie SAR exploitant des signaux et congurations de communication numerique » , Thèse doctorat electronique, l'université Européenne de Bretagne, 25 avril 2013.